

I-88

フィルダムの震力分布に与える地盤剛性の影響

建設省土木研究所 正会員 横山 真至 安田 成夫 中村 昭

1. まえがき

従来、フィルダムにおける動的解析では、堤体に比して岩盤の剛性が比較的大きいことから、基礎を剛体として解析することが多かった。しかし、近年基礎岩盤があまり良くない所でもダム建設が計画されるようになってきていることと、フィルダムは本来堤敷幅の長い構造物であり、基礎地盤の影響を非常に受け易いことから、堤体の応答特性に与える地盤剛性の影響を検討しておくことは重要である。本報告では、フィルダムに作用する地震力として、特に深さの異なるすべり土塊に作用する平均加速度から評価し、それに与える地盤剛性の影響を検討したものである。

2. 計算手法と計算条件

計算は2次元動的解析手法であるFLUSHを用いた。検討したモデルは図-1に示すように地盤高60m、ダム高63mとし、地盤の側方に伝達境界を底面に粘性境界を設定した。

堤体の物性値としては、その大半がロック材料であることからここではロック材料の物性値を代表して与えた。堤体および地盤の物性値を表-1に示す。堤体のせん断弾性係数 $G \sim \gamma$ （せん断ひずみ）、履歴減衰 $h \sim \gamma$ 曲線はロック材料の繰返し三軸試験結果¹⁾を用いた。また、初期の G は各要素の拘束圧に応じて設定した。

入力地震動はAダムの基礎で観測された伊豆半島東方沖地震の上下流方向の地震動を用いた。ただし、地盤の剛性によらず自由地盤表面が0.2g (=198gal)となるように調節して入力した。入力地震動のフーリエスペクトルを図-2に示す。

検討したすべり土塊は、図-3に示すように各標高ごとに2形状をもつ円形土塊を考え、その平均加速度 $\bar{a}(t)$ の時刻歴中の最大値を最大平均加速度 $\bar{a}_{max}$ と呼び、次式より算定した²⁾。

$$\bar{a}_{max} = \max\{\bar{a}(t)\} = \max[\sum \{m_i \times \bar{a}_{H_i}(t)\} / \sum m_i] \quad (1)$$

ここに、 $\bar{a}_{H_i}(t)$: i 節点の水平応答加速度

m_i : i 節点の占める範囲の質量

3. $\bar{a}_{max}$ の分布に与える地盤剛性の影響

地盤のせん断波速度を $V_s=2000, 1000, 500, 250$ (m/s)とした場合の $\bar{a}_{max}$ の y/H (y :すべり円弧の最深標高, H :ダム高)の分布を図-4に示す。

地盤剛性の低下に伴い $\bar{a}_{max}$ の値は減少しており、その減少量は堤体と地盤とのインピーダンス比 β で関係づけられる。基礎を剛体と仮定した場合の $\bar{a}_{max}$ を $\bar{a}_{max,0}$ とし、 $\bar{a}_{max,0}$ に対する $\bar{a}_{max}$ の比と β の関係を図-5に示す。ただし β の算出にあたっては、堤体の平均的な G を等価線形化法における繰返し計算の最終結果から図-1のハッチで示した代表要素の平均値で評価して求めたもので、ここでは概略の β と言える。また、円弧(1)と(2)の差は数%であったことから以下では円弧(2)についての結果を示すが傾向はほとんど同じであった。

これより、ほぼ天端に近いすべり円弧ほど、 β の増大による $\bar{a}_{max}$ の低減率は大きく、 β が約0.5の場合、天端での応答は剛基礎のほぼ半分になり、下端が中標高のすべり円弧では約8割程度となる。

このような地盤剛性の低下に伴う $\bar{a}_{max}$ の減少は、 β の増加によって、堤体底面での入力地震動が自由地盤表面に比べ低



図-1 モデル図

単位体積重量 (t/m^3)	堤体	地盤
飽和	1.88	2.08
静・動の弾力比	3.5	2.5
減衰定数 (γ)	$h \sim \gamma$	2.0

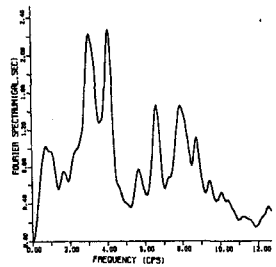


図-2 入力動のフーリエスペクトル

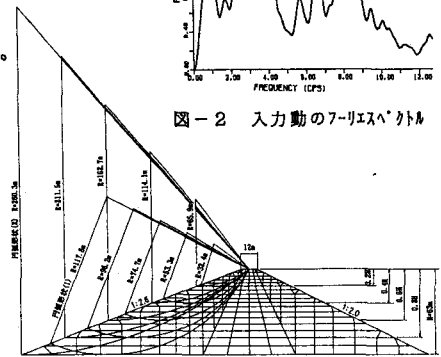
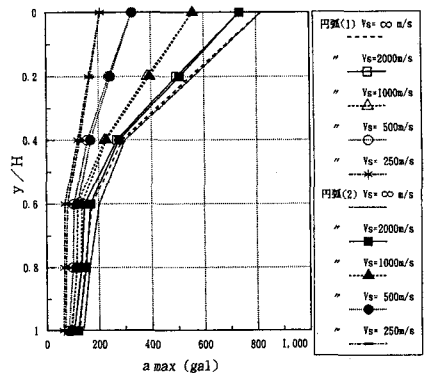


図-3 検討すべり土塊形状

図-4 $\bar{a}_{max}$ に与える地盤剛性の影響

下するためと考えられる。自由地盤表面に対する堤体底面ダム軸地点の地震動のフーリエスペクトルの比を図-6に示す。自由地盤表面での地震動に対して特に堤体の固有周波数（1次で1.8Hz、2次で3.0Hz）での損失が大きい。

4. 地下逸散減衰量 h_r の算定

β の増大による $\bar{a}_{max}$ の低減は、 β の増加による地下逸散減衰 h_r が増大するためとも言える。従来、剛基礎モデルにおける地下逸散減衰は内部減衰に上乗せる等価逸散減衰として考慮される。よって、ここでは等価逸散減衰を考慮した剛基礎モデルと堤体-地盤系モデルとの比較から堤体-地盤系モデルで評価される地下逸散減衰量を算定する。ただし、等価逸散減衰は各振動モードごとに異なるが³⁾、基本的には高周波数になるほど減少する周波数依存性がある⁴⁾ため、等価逸散減衰を用いた剛基礎モデルでの減衰の与え方はそれを考慮したものでなければならない。

そこで、剛基礎モデルにおける計算手法としては、FLUSH以外に周波数依存性のあるRayleigh減衰を用いたQUAD-4を使用した。ただし、QUAD-4では、次式に示すRayleigh減衰マトリックス[C]の質量と剛性に比例する部分の比率を調節するパラメーター、 α を従来0.4にした場合と、等価逸散減衰の周波数依存性を考慮して0.8とした場合⁵⁾を比較して検討した。

$$[C] = (1+\alpha) \cdot h_1 \cdot \omega_1 \cdot [M] + (1-\alpha) \cdot h_1 / \omega_1 \cdot [K] \quad (-1 \leq \alpha \leq 1) \quad (2)$$

剛基礎モデルにおいて等価逸散減衰定数 h_r を5%、10%とした場合と堤体-地盤系モデルで地盤の V_s を2000, 1000, 500(m/s)とした場合の $\bar{a}_{max}$ の分布を比較して図-7に示す。

まず剛基礎モデルでの $\bar{a}_{max}$ を比較すると、FLUSHとQUAD-4($\alpha=0.4$)は比較的一致しているがQUAD-4($\alpha=0.8$)では $y/H=0.4$ から天端にかけて他の2つに比べ大きくなっている。

一方、堤体-地盤系モデルと剛基礎モデルとの比較において $y/H=0.4$ でのすべり土塊の $\bar{a}_{max}$ が比較的一致する場合($h_r=5\%$ と $V_s=1000$ m/s, $h_r=10\%$ と $V_s=2000$ m/sの各ケース)を比較すると、 $y/H=1 \sim 0.4$ では剛基礎モデルによる $\bar{a}_{max}$ が大きい、 $y/H=0.4$ から天端にかけてQUAD-4($\alpha=0.8$)のケースは堤体-地盤系モデルでの結果と良く一致している。このことは、QUAD-4($\alpha=0.8$)では解析の対象となる堤体と地盤との β にあった適切な h_r を与えれば剛基礎モデルでも天端まで精度良く地震応答が可能であることを示している。

堤体-地盤系モデルでの天端での $\bar{a}_{max}$ と β の関係から、堤体-地盤系モデルとQUAD-4($\alpha=0.8$)を用いた剛基礎モデルの天端での $\bar{a}_{max}$ を一致させるための h_r と β の関係を求めると図-8のようにほぼ $h_r=0.4\beta$ となった。

5. 結論

- 1) フィルダムにおけるすべり土塊の最大平均加速度 $\bar{a}_{max}$ は、堤体と地盤のインピーダンス比 β の増加に伴い減少し、概ね $\beta=0.5$ の場合天端で剛基礎の場合の半分、中標高に下端をもつすべり土塊で約6割程度となる。
- 2) 剛基礎モデルにおける減衰の与え方としては、等価逸散減衰 h_r の周波数依存性を考慮してQUAD-4における減衰パラメーター、 α を0.8にし、ほぼ $h_r=0.4\beta$ の関係で h_r を与えれば、比較的 $\bar{a}_{max}$ の分布を天端まで堤体-地盤系モデルと一致させることが可能である。

(参考文献) 1) 松本・安田・吉賀：ロックフィルダムの地震時挙動，第18回地震工学研究発表会，pp.453-456, 1985. 2) 松本・安田・山辺：フィルダムに作用する地震力およびその簡易算定法，土木学会論文集，No.459/I-22, pp.103-112, 1993. 3) Chopra, A.K. and Perumalswami, P.R.: Dam-Foundation Interaction during Earthquakes, Proc. of 4th World Conference on Earthquake Engineering, 1969. 4) 大町達夫：フィルダム振動の地下逸散減衰量の算定，土木学会第36回年次学術講演要集，pp.570-571, 1981. 5) 横山・安田・中村：動的解析におけるRayleigh減衰を用いたフィルダムの減衰の表現法，第28回土木工学研究発表会，1993.

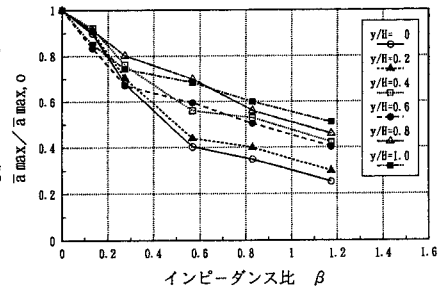


図-5 $\bar{a}_{max}/\bar{a}_{max,0}$ と β の関係

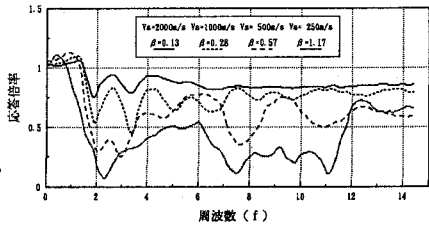


図-6 堤数々*軸地点/自由地盤表面のスペクトル比

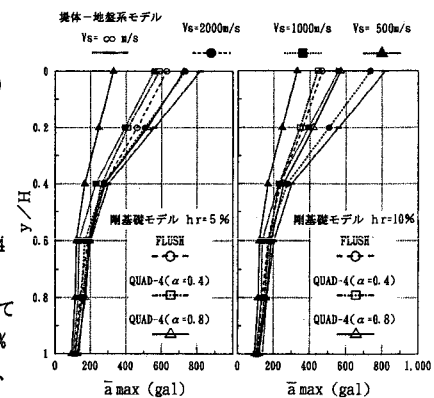


図-7 モデルの違いによる $\bar{a}_{max}$ の比較

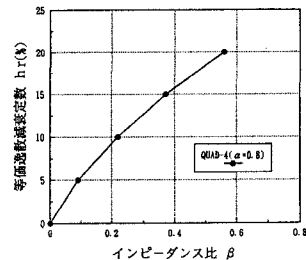


図-8 h_r と β の関係